

# 页岩气脱硫模拟分析

王坤<sup>1\*</sup>, 陈宏健<sup>2</sup>, 陆争光<sup>1</sup>

(1. 中国石油大学(北京)油气管道输送安全国家工程实验室/

城市油气输配技术北京市重点实验室, 北京 102249;

2. 中国石油天然气股份有限公司规划总院, 北京 100080)

**摘要:**为了研究 DEA 法在国内某页岩气的脱硫效果和规律, 结合页岩气性质和 DEA 溶液的脱硫特性, 建立了 DEA 法脱硫模型。利用该模型模拟了页岩气 DEA 法脱硫过程中的吸收塔工作压力和贫液循环量等参数的变化规律, 对模拟结果进行分析, 结果表明, 可适当提高吸收塔工作压力以提高脱硫效果; 提高页岩气的进塔温度可有效减少重沸器的工作负荷; 吸收塔塔板数对页岩气的脱硫效果有显著影响; DEA 溶液的循环量对重沸器负荷的影响很大; 质量分数 40% ~ 50% 的 DEA 溶液脱硫效果较好。

**关键词:**页岩气; 脱硫; DEA; HYSYS

中图分类号: TE866

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2015)11-0156-03

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2015.11.039

## Simulation analysis on shale gas desulfurization process

WANG Kun<sup>1\*</sup>, CHEN Hong-jian<sup>2</sup>, LU Zheng-guang<sup>1</sup>

(1. National Engineering Laboratory for Pipeline Safety, Beijing Key Laboratory of Urban Oil and

Gas Distribution Technology, China University of Petroleum(Beijing), Beijing 102249, China;

2. PetroChina Planning and Engineering Institute, Beijing 100080, China)

**Abstract:** In order to study desulfurization effect and law of DEA desulfurization method in shale gas, a DEA desulfurization model is established, combining with the characteristics of shale gas and DEA desulfurization method. By using this desulfurization model, the process of DEA desulfurization is simulated by changing law of parameters such as absorption tower pressure, lean amine solution circulating volume, and so on, during the process. The results show that desulfurization effect can be improved by increasing the absorption tower pressure appropriately. The workload of reboiler can be effectively reduced by increasing the shale gas temperature. Absorber stage number has a significant influence on desulfurization effect. Lean amine solution circulating volume has a great effect on reboiler workload. DEA solution whose mass fraction arranges from 40% to 50% has a better desulfurization effect.

**Key words:** shale gas; desulfurization; DEA; HYSYS

我国页岩气储量丰富, 国家能源局发布的“页岩气十二五规划”提出, 到 2015 年, 初步实现规模化生产, 页岩气产量达到 65 亿  $\text{m}^3/\text{a}$ , 页岩气的持续开发利用有利于缓解我国能源紧张的现状<sup>[1]</sup>。页岩气从地层开采出来常常携带大量的酸性有毒气体, 需要在处理厂进行净化达到相应的标准之后才能外输至下游用户<sup>[2]</sup>, 而页岩气田具有高产高压的特点, 井口套压可达 20 MPa 以上, 单井产量在 6 万 ~ 20 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , 因此处理厂的工作负荷压力很大。DEA 属于仲醇胺, 它的蒸气压低, 蒸发损失小, 由于其腐蚀性弱, 溶液质量分数较高, 使用的循环量较少, 投资和操作费用低, 因此, DEA 在气体脱酸中应用非常广泛<sup>[3-4]</sup>。

本文中以某页岩气田开采出的含硫化氢体积分

数 1.17% 的页岩气为研究对象, 进行 DEA 法脱硫工艺模拟分析, 为气田的工艺设计等提供参考。

## 1 气体条件及模型建立

### 1.1 气体性质

页岩气组分如表 1 所示, 来气温度 40℃, 压力为 5 MPa, 流量 215 万  $\text{m}^3/\text{d}$ 。

表 1 页岩气气质(体积分数)

表 1 页岩气气质(体积分数)							%
CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> +	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S
96.9985	0.3745	0.01325	0.00875	0.026	0.85125	0.46075	1.174

由表 1 可知, 页岩气中的硫化氢组分体积分数在 1.1% 以上, 达到 340  $\text{g}/\text{m}^3$ , 远远超过 GB 17820—2012《天然气》中二类气硫化氢含量小于 20  $\text{mg}/\text{m}^3$

的规定。

## 1.2 模型介绍

使用 Aspen Hysys 建立页岩气 DEA 脱硫模型<sup>[5-6]</sup>,如图 1 所示。

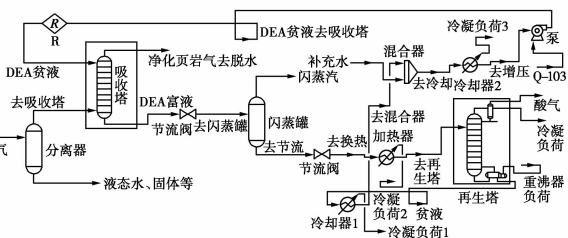


图 1 HYSYS 构建的页岩气脱酸模型

流程主要包括 2 个部分:气体脱硫、DEA 富液再生。含硫页岩气经过分离器从吸收塔底部进入吸收塔与塔顶的 DEA 贫液充分接触,页岩气中的硫化氢被 DEA 吸收,甜气从吸收塔顶输出去往脱水装置。塔底富含硫化氢的 DEA 富液溶液通过节流降压之后,进入闪蒸罐闪蒸出液体中的蒸气体,再与再生塔底部输出的高温贫液进行换热,进入再生塔再生,酸性气体从塔顶排出进行进一步处理,蒸馏后的富液变为贫液从塔底流出并与进入再生塔的富液换热后温度降低到 60~70℃,贫液与补充水混合后经冷却、增压,从吸收塔顶部进入,这样就构成了一个循环的脱酸过程<sup>[7]</sup>。本文中建立的 DEA 脱酸模型吸收塔的塔板数取 10 块,塔板间距约为 0.6 m,再生塔塔板取 20 块,塔顶进气温度为 98℃。

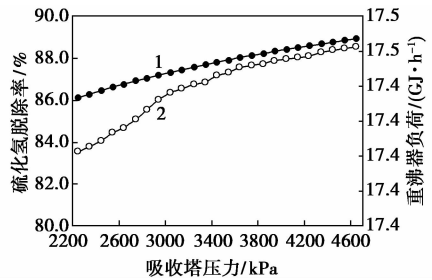
## 2 模拟分析

建立的 DEA 脱除硫化氢的工艺模型是否有效的一个重要指标为净化后的页岩气中硫化氢含量是否满足要求。另外,据统计表明,再生塔底的重沸器部分能耗可占到系统总能耗的 80% 以上,因此,重沸器的负荷是本文中模拟分析的另一重要指标。本文中采用单一变量分析方法,通过改变单个不同影响因素,综合考虑页岩气硫化氢脱除率和重沸器负荷大小变化。

### 2.1 吸收塔压力

页岩气流量 215 万  $\text{m}^3/\text{d}$ , DEA 的注入量为 4 800  $\text{kg}/\text{min}$ ,吸收塔板数目设置为 10,初始工作压力为 4 600 kPa,再生塔板 15 个。改变吸收塔的工作压力,控制其他变量,得到硫化氢脱除率和重沸器负荷与压力间的关系,由图 2 可知,硫化氢脱除率和重沸器负荷均随压力的增大而增大,但二者的变化不大,当吸收塔压力提高了 2.4 MPa 时,硫化

氢脱除率提高约 2%,重沸器负荷增加约  $10^8 \text{ J}/\text{h}$ 。因此,存在一个较优的压力值使得脱酸和节能效果较好。

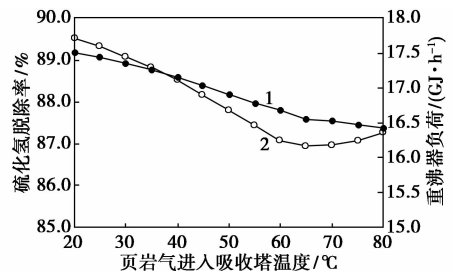


1—硫化氢脱除率;2—重沸器负荷

图 2 不同吸收塔工作压力的影响

### 2.2 页岩气温度

页岩气进塔温度对脱硫率影响不大,但是对减少再生塔功率消耗作用明显,由图 3 可知,随着页岩气温度的增加,重沸器负荷呈现先减小再增大的趋势,在 64℃ 附近重沸器负荷最小。因此,从节约系统运行成本的角度来看,应优选出一个较优的进气温度以减少再生塔的能耗费用。

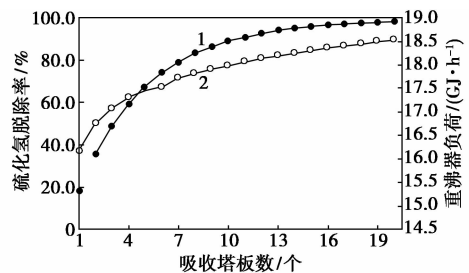


1—硫化氢脱除率;2—重沸器负荷

图 3 不同页岩气进塔温度的影响

### 2.3 吸收塔塔板数

吸收塔塔板数是吸收塔设计过程中一个重要的设计参数,通过初选吸收塔塔板数量得到硫化氢脱除率和重沸器负荷的变化结果。由图 4 可以看出,硫化氢的脱除程度随着吸收塔的增加呈现明显增加的趋势,且增大的幅度逐渐减小。重沸器负荷的变



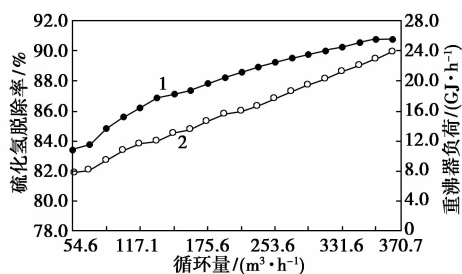
1—硫化氢脱除率;2—重沸器负荷

图 4 不同吸收塔塔板数的影响

化则是先增大然后逐渐减小的趋势。因此,理论上增大吸收塔的塔板数可以有效地提高系统脱酸的能力并且达到减小能耗的目的,但是当吸收塔塔板设定为 20 个时,模型不再收敛,故最终选取 19 块吸收塔板。

## 2.4 DEA 溶液循环量

DEA 溶液循环量在很大程度上决定着页岩气脱酸系统的运营费用,循环量的合适选择显得尤为重要。初设进入吸收塔的 DEA 贫液温度为 35℃,流量为 234.1 m<sup>3</sup>/h(单位已换算),吸收塔板数为 10,通过改变 DEA 进量得到不同循环量对应的硫化氢脱除率和重沸器负荷。由图 5 可知,随着 DEA 循环量的不断增大,可有效提高硫化氢的脱除率,但是重沸器负荷几乎呈直线增长,因此,存在一个较佳的 DEA 循环量使经济效益最高。综合考虑,采用吸收塔压力 4 600 kPa,循环量取 234.1 m<sup>3</sup>/h。

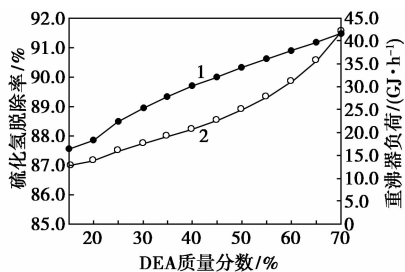


1—硫化氢脱除率;2—重沸器负荷

图 5 不同 DEA 循环量的影响

## 2.5 DEA 质量分数

DEA 溶液质量分数对脱酸效果和再生塔的重沸器能耗均有较明显的影响,如图 6 所示,硫化氢脱除效果随 DEA 质量分数增加而增强,重沸器负荷随 DEA 质量分数增大而增大的速度逐渐变大。因此,在选取 DEA 溶液质量分数时需综合考虑对二者的影响以选取较优的值,由图 6 可以得到,质量分数 40% ~ 50% 的 DEA 溶液较为合适。



1—硫化氢脱除率;2—重沸器负荷

图 6 不同 DEA 质量分数的影响

## 3 结论

采用 DEA 脱酸法对某页岩气进行脱除硫化氢模拟分析,分别考虑吸收塔工作压力、页岩气进吸收塔温度、吸收塔塔板数、DEA 溶液循环量以及 DEA 溶液的质量分数对建立的脱酸系统硫化氢脱除率和重沸器负荷的影响情况,得出结论。

(1) 提高吸收塔工作压力可增大硫化氢脱除率,但同时再生塔的重沸器负荷也会相应增大,可适当提高吸收塔工作压力以提高脱酸效果。

(2) 页岩气进塔温度对脱酸效果影响较小,但是提高页岩气的进塔温度可有效减少重沸器的工作负荷,且重沸器的工作负荷随着温度的增加呈现先减小后增大的趋势,因此,页岩气进塔温度应不超过 65℃。

(3) 吸收塔塔板数对页岩气的脱酸效果有显著影响,增大吸收塔塔板可大幅提高页岩气中硫化氢的脱除率。重沸器负荷随吸收塔塔板数的增大先增大后减小,但吸收塔塔板数不可太多,否则影响系统的收敛性能。

(4) DEA 溶液的循环量对重沸器负荷的影响很大,因此,满足脱酸要求的前提下应尽可能减少 DEA 溶液的循环量,以达到减少再生塔能耗的作用。

(5) 页岩气脱酸效果随着 DEA 溶液的质量分数的增加可显著提高,但是 DEA 溶液质量分数的升高也会显著增加重沸器负荷,因此,质量分数 40% ~ 50% 的 DEA 脱酸溶液较为合适。

## 参考文献

- [1] 董大忠,邹才能,杨桦,等. 中国页岩气勘探开发进展与发展前景[J]. 石油学报,2012,33(8):107-113.
- [2] 藤吉文,刘有山. 中国页岩气成藏和潜在产能对环境污染的分析[J]. 中国地质,2013,40(1):1-30.
- [3] 冯叔初,郭揆常. 油气集输与矿场加工[M]. 东营:中国石油大学出版社,2006.
- [4] 韩淑怡,王科,黄勇,等. 醇胺法脱硫脱碳技术研究进展[J]. 石油与天然气,2014,32(3):19-22.
- [5] 李士富. 油气处理工艺及计算[M]. 北京:中国石化出版社,2010.
- [6] 王遇冬. 天然气处理原理与工艺[M]. 北京:中国石化出版社,2007.
- [7] 李亚萍,赵玉君,呼延念超,等. MDEA/DEA 脱硫脱碳混合溶液在长庆气区的应用[J]. 天然气工业,2009,29(10):107-110. ■